

Industria 4.0

LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Luis Joyanes Aguilar



Industria 4.0

La cuarta revolución industrial

Luis Joyanes Agullar

Industria 4.0

La cuarta revolución industrial

Luis Joyanes Agullar



Industria 4.0. La cuarta revolución industrial

Luis Joyanes Aguilar

Derechos reservados © Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México

Primera edición: junio 2017

ISBN: 978-607-622-942-2

Primera edición: MARCOMBO, S.A. 2018

© 2018 MARCOMBO, S.A.

www.marcombo.com

«Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra».

ISBN: 978-84-267-2568-4

D.L.: B-20652-2017

Printed in Spain

*A mis queridas niñas (mis nietas) Inés y Olivia con mi inmenso cariño y mi
continuo recuerdo hacia ellas.*
*A mis hijas Victoria y Graciela, y mi hijo Luis, también siempre presentes en
mi vida diaria y cuyo apoyo y consejos nunca me faltan.*

Agradecimientos

La obra que tiene el lector entre sus manos ha sido un proceso de estudio e investigación de bastantes años sobre la tendencia Industria 4.0 nacida e impulsada en Alemania. El año 2011 con ocasión de la visita del Presidente Federal Wulff a la DFKI (German Research Center for Artificial Intelligence) fue presentado el proyecto de Industria 4.0 y su visión inicial de la cuarta revolución industrial. Tuve la suerte de conocer este informe inicial ese año, pero fue a partir del año 2013 cuando ya la Academia Alemana de Ciencias e Ingeniería Acatech publicó su informe oficial *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0* y pudimos leer y consultar con más tranquilidad dicho informe y la evolución posterior de la tendencia Industria 4.0

El contenido de esta obra ha sido posible, la ayuda y colaboración de un gran número de personas que me han ayudado de diferentes formas. En primer lugar, mi agradecimiento a mis alumnos de las carreras de Ingeniería Informática y Ingeniería de Organización Industrial de la Facultad de Informática de la Universidad Pontificia de Salamanca en el campus de Madrid, que colaboraron los primeros años en mis clases, con sus trabajos y talleres académicos, y sobre todo, con sus conocimientos que me facilitaron la formación en los contenidos iniciales de la Industria 4.0. De igual forma a los

También he recibido grandes ayudas y realimentaciones y, por ello, mi agradecimiento eterno a los muchos asistentes a mis conferencias, cursos, seminarios, talleres impartidos durante esos años, así como a colegas y estudiantes de doctorado, tanto en España como en Latinoamérica y Caribe. Son muchas las universidades, institutos tecnológicos y politécnicos donde he tenido la gran suerte de ejercer la transmisión y recepción del conocimiento relacionado con Industria 4.0, la Cuarta Revolución Industrial y sus tecnologías disruptivas en el periodo 2012 a 2017. Las instituciones académicas donde he tenido mis estancias académicas han sido muy numerosas y pertenecen a los siguientes países que he visitado durante este periodo que ha durado la investigación y desarrollo de esta obra: México, Cuba, República Dominicana, Panamá, Nicaragua, Puerto Rico, Colombia, Perú, Ecuador, Paraguay y Brasil.

Por último, a mi editor y -sin embargo- amigo **Damián Fernández** que como en otras obras, y en particular en esta obra tan compleja, ha estado siempre ayudándome con sus consejos, guías y recomendaciones, en cada

momento que lo he necesitado. A **Marcelo Grillo**, Director Editor con el que siempre coordino y realimento proyectos y recibo su asesoramiento. También al resto del equipo editorial -especialmente de México, Colombia y Argentina- que tanta ayuda me han prestado para que este libro pueda llegar al lector.

*En Carhelejo (JAÉN), Sierra Mágina (Andalucía), ESPAÑA
y en Ciudad de México (CDMX)*

Mayo, 2017

Mensaje del editor

Los conocimientos son esenciales en el desempeño profesional, sin ellos es imposible lograr las habilidades para competir laboralmente. La universidad o las instituciones de formación para el trabajo ofrecen la oportunidad de adquirir conocimientos que serán aprovechados más adelante en beneficio propio y de la sociedad; el avance de la ciencia y de la técnica hace necesario actualizar continuamente esos conocimientos. Cuando se toma la decisión de embarcarse en una vida profesional, se adquiere un compromiso de por vida: mantenerse al día en los conocimientos del área u oficio que se ha decidido desempeñar.

Alfaomega tiene por misión ofrecerles a estudiantes y profesionales conocimientos actualizados dentro de lineamientos pedagógicos que faciliten su utilización y permitan desarrollar las competencias requeridas por una profesión determinada. Alfaomega espera ser su compañera profesional en este viaje de por vida por el mundo del conocimiento.

Alfaomega hace uso de los medios impresos tradicionales en combinación con las tecnologías de la información y las comunicaciones (TICs) para facilitar el aprendizaje.

Esta obra contiene numerosos gráficos, cuadros y otros recursos para despertar el interés del estudiante, y facilitarle la comprensión y apropiación del conocimiento. Cada capítulo se desarrolla con argumentos presentados en forma sencilla y estructurada claramente hacia los objetivos y metas propuestas.

Los libros de Alfaomega están diseñados para ser utilizados dentro de los procesos de enseñanza-aprendizaje, y pueden ser usados como textos para diversos cursos o como apoyo para reforzar el desarrollo profesional.

Alfaomega espera contribuir así a la formación y el desarrollo de profesionales exitosos para beneficio de la sociedad.

Acerca del autor

Luis Joyanes Aguilar

Presidente de la Fundación I+D del Software Libre (Fidesol), Granada (España). Catedrático de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad Pontificia de Salamanca. Doctor Ingeniero en Informática por la Universidad de Oviedo, Doctor en Sociología por la Universidad Pontificia de Salamanca y Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid. Profesor invitado y visitante en numerosas universidades de Latinoamérica y del Caribe. Conferenciante habitual en congresos, simposios, jornadas... a nivel internacional. Ha dirigido más de 50 tesis doctorales de estudiantes españoles, portugueses y latinoamericanos. Ha escrito más de 40 libros de TIC y más de 100 artículos científicos y profesionales. Investigador del Grupo de investigación de “Ética en la nube” de la Facultad de Filosofía de la Universidad Complutense de Madrid, en el proyecto de investigación: “Ciencia, Tecnología y Sociedad: Problemas políticos y éticos de la computación en nube como nuevo paradigma socioético” (Referencia: **FFI2013-46908-R**). Miembro del Instituto Universitario “Agustín Millares” de la Universidad Carlos III de Madrid.

Contenido

Parte I. Origen y fundamentos de Industria 4.0

CAPÍTULO 1

INDUSTRIA 4.0 Y LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL 1

Las cuatro revoluciones industriales 2

Primera y segunda revoluciones industriales 5

La tercera revolución industrial (Rifkin) 6

La tercera revolución industrial: la fábrica del futuro (The Economist) 7

El puente a la cuarta revolución industrial 9

Industria 4.0: Origen, evolución y futuro 9

Informe final Industria 4.0: Working Group 11

Industria Conectada 4.0 12

El modelo Cuarta Revolución Industrial de Davos/Schwab 14

Tendencias tecnológicas (megatendencias) 15

Retos y oportunidades de la cuarta revolución industrial 17

Las tecnologías disruptivas pilares de la industria 4.0 19

La inteligencia artificial 22

La era de la Internet de las Cosas y la cuarta revolución industrial. 23

¿Vivimos ya en la cuarta revolución industrial? 24

Internet de las cosas: la gran oportunidad para impulsar la economía y los negocios 25

Tecnologías wearables (ponibles) 26

Internet de las cosas en el horizonte 2025 28

Las ciudades inteligentes (smart cities) 30

Iniciativas de Smart Cities y de IoT ... 31

El nuevo modelo de fabricación aditiva: la impresión en 3D 32

El futuro de la impresión 3d ya casi presente 35

El futuro cercano: el internet de todo 36

Resumen 37

Bibliografía 39

CAPÍTULO 2

TECNOLOGÍAS FACILITADORAS DE LA INDUSTRIA 4.0 45

Drones 46

Normativas legales del uso de drones 47

Aplicaciones de los drones 49

Tecnologías wearables (ponibles) 49

Componentes de un dispositivo “wearable” 50

Tipos de dispositivos wearables 50

Gamificación 51

¿Dónde utilizar la gamificación? 52

Ventajas de la gamificación 52

Realidad virtual 52

Gafas de realidad virtual 53

Realidad aumentada 54

La expansión de la realidad aumentada 55

Aplicaciones de la realidad aumentada 55

Realidad mixta y realidad fusionada: un camino al futuro 58

Tecnologías celulares y móviles: el camino a las redes 5G 59

Dispositivos móviles 60

Hardware 60

La tarjeta eSIM 61

Software	61
Comunicaciones y servicios móviles:	
Las redes 5G	63
Redes 5G: el futuro en 2020	64
Comunicaciones inalámbricas	65
Geolocalización	67
Aplicaciones de geolocalización	68
Resumen	69
Bibliografía	70

CAPÍTULO 3

LA TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN ORGANIZACIONES Y EMPRESAS	73
¿Qué es transformación digital?	74
Los modelos de negocio en la transformación digital	75
¿Cuáles son las tecnologías habilitadoras de la transformación digital?	76
Tendencias de transformación digital	76
Predicciones sobre el futuro de la transformación digital: tendencias 2016 (Forbes)	77
Las 10 tendencias más importantes para la transformación digital en 2017 (Forbes)	77
La transformación digital en la visión de Telefónica	79
La empresa digital	80
Los doce dominios de digitalización de la empresa	81
La transformación digital en la industria y en la empresa	81
España 4.0: La transformación digital de las empresas (una visión desde Industria 4.0)	81
Palancas y facilitadores de la transformación digital	83
El estudio de transformación digital de la empresa (Territorio Creativo & LSEE)	85
La ciberseguridad en la transformación digital	87

El proceso de transformación digital	87
El proceso de la transformación digital de The Economist / Intelligence Unit	88
Acelerar el calendario de la disrupción (transformación digital)	90
Conclusiones de <i>The Economist</i>	90
El proceso de transformación digital de la empresa (modelo Delgado)	91
Fábrica inteligente 4.0: la transformación digital de la industria 4.0	92
Resumen	93
Bibliografía	95

Parte II. Los Pilares Tecnológicos de la Cuarta Revolución Industrial

CAPÍTULO 4

LA NUBE (CLOUD COMPUTING)	97
Origen y evolución de cloud computing	98
Definición de la nube	100
Características de cloud computing	102
Modelos de la nube (Cloud)	105
Modelos de servicio	106
Modelos de despliegue	108
Criterios de selección del modelo de nube	109
Proveedores de la nube	110
Proceso de migración a la nube	111
¿Cómo adaptar la nube en organizaciones y empresas?	111
Consideraciones económicas	112
Características organizacionales	113
Acuerdos de nivel de servicio (SLA, Service Level Agreement)	113
Seguridad	113
Los centros de datos como soporte de cloud computing	114
Internet y los centros de datos: una industria pesada	115
Seguridad en la nube	116

Contratación de servicios de cloud computing	118
El contrato de cloud computing	119
Riesgos y amenazas en cloud computing	121
Resumen	122
Bibliografía	123
Recursos web	124

CAPÍTULO 5

BIG DATA: EL PODER DE LOS DATOS

.....	127
Definición de Big Data	129
Tipos de datos	131
Datos estructurados	131
Datos no estructurados	133
Datos semiestructurados	134
Características de Big Data	134
Volumen	135
Velocidad	136
Variedad	136
El modelo de las 5V	138
El modelo de las 7V	140
El tamaño de los Big Data	141
Breve reseña histórica de Big Data	142
El origen moderno de Big Data	142
Fuentes de datos	144
Tipos de fuentes de Big Data	145
Datificación	148
Datos en organizaciones y empresas	149
Datos internos	149
Datos externos	149
Arquitectura de Big Data	150
Recolección de datos	151
Almacenamiento de datos	151
Procesamiento y análisis de datos	152
Visualización de datos	153
Open Data: El movimiento de los datos abiertos	153
Iniciativas de Open Data	155
La iniciativa de la Unión Europea ...	161
Open Data Center Alliance	162
Open Data Institute (ODI)	163

Resumen	164
Bibliografía	166

CAPÍTULO 6

INTERNET DE LAS COSAS	171
¿Qué es Internet de las Cosas?	172
Definición de Internet de las Cosas	174
Definición de Internet de las Cosas de ITU (UIT)	176
Conceptos varios relacionados con IoT: M2M, WOT, IOE... ..	176
Historia del Internet de las cosas ...	177
Aplicaciones del Internet de las Cosas	178
Caso de estudio. Peaje inteligente de autopistas sin barreras	179
Tecnologías y tendencias habilitadoras del Internet de las Cosas	180
IPv6: el desarrollo de la Internet de las Cosas	181
Arquitectura de Internet de las Cosas	182
Detección y recolección de datos ..	183
Transmisión de datos (redes de comunicaciones): Conectividad	184
Redes de comunicaciones y protocolos estándares	184
La red LPWA (la red estándar adaptada al internet de las cosas) ..	186
Conexión con la nube (o centro de datos propio)	187
Almacenamiento en la nube (centro de datos)	187
Analítica de datos	187
Presentación y visualización de resultados (plataforma de provisión de servicios)	188
Internet de todo y las cuatro fuentes de generación de datos	188
Cosas (Objetos): las tecnologías de los dispositivos conectados	190
Tipos de dispositivos conectados ..	191
Computadores multipropósito	191

Conectividad de la red	192
Sensores	193
Controladores	196
Actuadores	196
Internet Industrial de las Cosas (IIoT) / Internet Industrial.....	198
La seguridad en Internet de las Cosas	199
Seguridad de Internet de las Cosas: Estado del arte	199
Predicciones de seguridad para 2017-2020 del Internet de las Cosas	200
La privacidad en Internet de las Cosas	202
Normas legales, derecho y aspectos regulatorios	203
Internet de futuro	203
Resumen	204
Bibliografía	205
Breve glosario de siglas de IOT.....	206

CAPÍTULO 7

CIUDADES INTELIGENTES (SMART CITIES)	209
Definición de ciudad inteligente	210
Normalización de ciudades inteligentes (AENOR)	211
Modelos de ciudad inteligente	212
Modelo de ciudad inteligente de la Unión Europea	213
Otros modelos de ciudades inteligentes	214
Modelo de ciudad inteligente de la ONTSI	215
Estrategias de ciudades inteligentes en Europa	216
Arquitectura de una ciudad inteligente (Cadena de valor tecnológica de Telefónica)	217
Cadena de valor de la Smart City de ONTSI	220
Las redes eléctricas inteligentes (Smart Grids)	222

Sensores en las ciudades inteligentes	223
Resumen	225
Bibliografía	226

CAPÍTULO 8

INTELIGENCIA ARTIFICIAL APLICADA: COMPUTACIÓN COGNITIVA, BOTS Y CHATBOTS	229
Historia y evolución de la inteligencia artificial	230
Aprendizaje automático	233
Aprendizaje profundo	234
Aprendizaje automático frente a aprendizaje profundo	237
El futuro de la inteligencia artificial: el aprendizaje profundo	238
Computación cognitiva	239
La computación cognitiva en la era de Big Data	240
IBM Watson	241
Bots y Chatbots	243
Los asistentes virtuales	243
Aplicaciones de los bots	244
Los bots: ¿Las nuevas aplicaciones móviles?	246
Plataformas de bots	247
Chatbots de empresa: el caso de la atención al cliente.....	248
Caso de estudio Alexa de Amazon .	249
Caso de estudio: Slack	250
Caso de estudio: Bixby de Samsung (abril 2017)	251
La seguridad en los bots	252
Declaración de Barcelona sobre inteligencia artificial	253
Resumen	253
Bibliografía	254

CAPÍTULO 9

LA ROBÓTICA: LOS ROBOTS COLABORATIVOS (COBOTS)	257
Estado del arte de la robótica	258
La visión de robótica de IDC	259

La robótica en la generación y posibles pérdidas de empleo	259	Tendencias en ciberseguridad: un primer avance	289
Estudio del Foro de Davos sobre el futuro del empleo (enero 2016)	260	La Web profunda, la Web Invisible (Deep Web)	291
Estudio de robotización del McKinsey Global Institute (enero 2017)	261	Los ciberriesgos	292
Los riesgos de la Inteligencia Artificial en la Robótica	261	La necesidad de un seguro de ciberriesgos en la empresa	292
Robots colaborativos (cobots)	262	La ciberseguridad en la empresa y la empresa ante la ciberseguridad ...	293
Tecnologías complementarias de la robótica colaborativa	263	La ciberseguridad y la inteligencia artificial	294
La robótica y la inteligencia artificial en la feria de Hannover Messe 2017: cobots y gemelos digitales ...	265	Watson for cyber security	295
Los cobots en la fábrica inteligente 4.0	265	Plataforma de ciberinteligencia de Accenture	295
Los gemelos digitales (digital twins)	266	Proyecto de colaboración público-privada en la ciberseguridad de la Unión Europea	296
Los robots industriales en el empleo: normativa legal	268	Directiva de ciberseguridad (NIS) de la Unión Europea	296
Tendencias en automatización industrial para 2017	269	La ciberseguridad en América Latina y el Caribe	298
Tendencias de robótica para 2017 (IDC)	270	Tendencias de seguridad cibernética en América Latina y el Caribe	298
Resumen	271	Ciberseguridad 2016 en América Latina y Caribe	299
Bibliografía	272	Estrategia de ciberseguridad de la Unión Europea	300
CAPÍTULO 10		Estrategia de ciberseguridad nacional de España	301
CIBERSEGURIDAD	275	Tendencias en Ciberseguridad	302
¿Qué es ciberseguridad?	276	Tendencias TIC de INCIBE (2016), julio 2016	302
Principios fundamentales de la ciberseguridad	277	Nuevos escenarios y desafíos de la seguridad Telefónica (septiembre 2016)	303
Principales diferencias entre ciberseguridad y seguridad de la información	278	Otras tecnologías de impacto en el futuro de la ciberseguridad analizadas	303
La ciberseguridad en tiempo real ...	279	La concienciación en ciberseguridad	304
Una breve muestra de ciberataques de impacto y una primera reflexión	280	El futuro de la ciberseguridad	304
Infraestructuras críticas	281	El decálogo de la ciberseguridad	
Ciclo de vida de la ciberseguridad ..	282	FTF & Fundación Bankinter	305
Ciberamenazas: agentes y tipos	285		
Ciberataques: Herramientas utilizadas por los atacantes	286		
Resiliencia	288		

El decálogo de la ciberseguridad de INCIBE	306
Ciberseguridad 4.0	306
Caso de estudio: el ciberataque global del 12 de mayo de 2017	307
Resumen	308
Bibliografía	310

Parte III. La Llegada de la Cuarta Revolución Industrial

CAPÍTULO 11

ANALÍTICA DE DATOS (BIG DATA ANALYTICS)	319
¿Qué es analítica de datos (Data Analytics)	320
Tipos de analítica de datos	321
Analítica de negocios (Business analytics /Analytics)	322
Una visión global de la analítica de Big Data	323
Categorías de analítica	325
Analítica de Big Data	326
Características de una plataforma de integración de analítica de Big Data	329
Analítica digital	330
Analítica Web	331
Métricas	333
Indicadores clave de rendimiento (KPI)	339
Diferencias entre métricas y KPI ...	341
La proliferación de datos sociales .	341
Analítica social	343
Métricas se social media	344
Análisis de sentimientos	346
Herramientas de análisis de sentimientos	347
Analítica móvil	348
Caso de estudio: Google Analytics .	350
Caso de estudio: IBM Watson Data	353
Resumen	355
Bibliografía	357

CAPÍTULO 12

ALGORITMOS, ECONOMÍA COLABORATIVA Y BLOCKCHAIN: LOS NUEVOS PILARES DE LA ECONOMÍA DIGITAL	359
El algoritmo como modelo de negocio en la economía digital	360
¿Qué es un algoritmo?	362
Los algoritmos en la empresa	363
Economía de algoritmos	364
Áreas de impacto en los algoritmos ..	366
Los algoritmos como servicio	368
Recomendaciones de uso de un servicio de algoritmos	368
Casos de estudio de algoritmos	369
Tiendas de algoritmos	371
La ética de los algoritmos	372
Economía colaborativa	373
¿Qué es economía colaborativa?	374
La regulación normativa de la economía colaborativa	376
Blockchain (cadena de bloques)	377
Resumen	382
Bibliografía	383

CAPÍTULO 13

CIENCIA DE DATOS Y CIENTÍFICOS DE DATOS	389
Definición de ciencia de datos	390
Disciplinas de ciencia de datos (evolución del diagrama de Venn de Conway)	392
Definición de Data Science de IBM ...	396
El científico de datos	397
Científico de datos: la profesión más sexy del siglo XXI (HBR)	398
El perfil del científico de datos	399
El científico de datos en la academia	400
El científico de datos en la industria y en la empresa	401
Casos de éxito de empresas con científicos de datos de referencia ..	401
El premio Netflix Prize	402

Herramientas de programación para ciencia de datos	403
Caja de herramientas de Kdnuggets	404
Una revisión de plataformas de ciencias de datos	405
El proceso de ciencias de datos	406
Certificaciones profesionales en Data Science	409
Resumen	411
Bibliografía	412

CAPÍTULO 14

PRIVACIDAD Y PROTECCIÓN DE DATOS EN LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: RIESGOS Y OPORTUNIDADES	415
El cambio social profundo de la cuarta revolución industrial: un breve análisis de los riesgos	416
Informe de riesgos laborales	417
Impactos negativos de los cambios tecnológicos según el WEF	417
Los riesgos de Big Data en la privacidad	418
Medidas de seguridad en el ciclo de Big Data	420
La ética y la responsabilidad social de las empresas	421
Evaluación de impacto en la protección de datos	423
El nuevo reglamento de protección de datos y de privacidad de la Unión Europea (25 de mayo de 2016)	424
Novedades del nuevo reglamento ..	424
Recomendaciones de la AEPD sobre el nuevo reglamento	425
El delegado de protección de datos (DPO)	426
Guía de privacidad y seguridad en Internet (AEPD/INCIBE)	428
El escudo de privacidad Unión Europea- EE.UU	430
Resumen	430

Bibliografía	432
--------------------	-----

CAPÍTULO 15.

EL FUTURO TECNOLÓGICO, DOS REALIDADES: INDUSTRIA 4.0 Y CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL (TENDENCIAS TECNOLÓGICAS 2017-2020)	435
Tecnologías emergentes según el World Economic Forum (WEF)	436
Tendencias tecnológicas estratégica para 2017 (Gartner)	440
Tendencias tecnológicas para 2017 (Accenture)	447
El despliegue de Industria 4.0	448
Inteligencia artificial aplicada	449
Estrategia de Inteligencia artificial de Estados Unidos (octubre 2016)	449
Los algoritmos: desarrollo y economía	450
Tecnologías indispensables para la transición a la Industria 4.0	450
10 tendencias tecnológicas de internet de las cosas (2017-2018)	452
El futuro del empleo y las nuevas profesiones	453
La formación en tecnologías disruptivas	455
Los nuevos roles profesionales	456
La formación en ciberseguridad y en sus tecnologías disruptivas	459
Redes 5G: el nuevo mundo hiperconectado	460
La revolución silenciosa de blockchain	461
El futuro de Industria 4.0: Feria Hannover-Messe 2017	463
En el umbral de la Cuarta Revolución Industrial	465
Resumen y conclusiones	467
Bibliografía	470

Prólogo

NACIMIENTO Y EVOLUCIÓN DE INDUSTRIA 4.0

El término Industria 4.0 se acuñó en Alemania en el año 2011 en la Feria tecnológica de Hannover-Messe, si bien fue en la edición de dicha feria en 2013 cuando se presentó la Iniciativa oficial del Gobierno de Alemania. El documento fundacional de Industria 4.0 y de la plataforma asociada (*Platform Industrie 4.0*) denominado *Recommendations for implementig the strategic initiative Industrie 4.0* fue redactado por **Acatech** (Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería de Alemania) y presentado en abril de 2013. Contó con la colaboración del **DFKI** (Centro de Investigación alemán para la Inteligencia Artificial) así como el apoyo de la industria y grandes empresas alemanas.

*Industria 4.0 describe la digitalización de sistemas y procesos industriales, y su interconexión mediante la **Internet de las cosas e Internet de los Servicios** para conseguir una mayor flexibilidad e individualización de los procesos productivos. Es una visión de la fábrica del futuro o fábrica inteligente.* La **transformación digital de la industria** y las **empresas** con la integración de las nuevas tecnologías disruptivas, el citado **Internet de las Cosas**, **Big Data**, la Nube (**Cloud Computing**) y la **Ciberseguridad**, todo ello enmarcado en las **Ciudades Inteligentes (Smart Cities)** está produciendo el advenimiento y despliegue de la **Cuarta Revolución Industrial**.

La cuarta revolución industrial trae consigo una tendencia a la automatización total de la manufactura (fabricación). La estrategia de alta tecnología propone llevar a Alemania, como líder mundial que es en fabricación, a su automatización completa e inteligente con una total independencia de la mano de obra humana, pero en mutua conexión de ambas partes: sistemas físicos y virtuales. La Industria 4.0 busca como objetivo principal la creación de fábricas inteligentes mediante la integración de sistemas de fabricación ciberfísicos (virtuales y físicos), La cuarta revolución industrial en sus orígenes consiste en la creación de máquinas inteligentes y sistemas inteligentes conectados.

La automatización se basa en los **sistemas ciberfísicos** facilitada por la **Nube (cloud computing)** y el **Internet de las Cosas**, con la ayuda indispensable de la **fabricación aditiva** mediante las **impresoras 3D**, y, además, el soporte fundamental de la **inteligencia artificial** y de **big data**, como tecnologías clave para la conversión de los grandes volúmenes de

datos que se comenzaban a generar en conocimiento y su uso eficiente en la toma de decisiones.

Los sistemas ciberfísicos, combinan máquinas físicas y tangibles con procesos digitales, y son capaces de tomar decisiones descentralizadas y de cooperar entre ellos y con los humanos mediante el citado Internet de las Cosas. Con estos soportes tecnológicos nos dirigimos hacia las fábricas inteligentes y las empresas podrán crear redes inteligentes que podrán controlarse a sí mismas, a lo largo de toda la cadena de valor.

La **Industria 4.0** es el producto más tangible de la cuarta revolución industrial y está favoreciendo la **fabricación inteligente** en un marco revolucionario para diseñar, implantar y gestionar ecosistemas complejos que proporcionan información en tiempo real y posibilitan las interacciones autónomas entre máquinas, sistemas, objetos y cosas. Este modelo permite sacar el máximo partido y rendimiento del *Internet de las cosas (IoT)*, la *nube*, los *big data* y la analítica de datos, la inteligencia artificial, las aplicaciones de última generación y la ciberseguridad.

Industria 4.0 y fábricas inteligentes (*smart factories*) son parte de la Internet de las Cosas y del Internet de los Servicios y en la iniciativa se definen cinco sectores estratégicos:

- Movilidad inteligente
- Logística inteligente
- Edificios inteligentes
- Productos inteligentes
- Redes inteligentes

En numerosos países y, en particular, España (*Industria Conectada 4.0*) se han publicado diferentes iniciativas de Industria 4.0 a nivel gubernamental y también impulsadas por asociaciones de empresas, y organizaciones y empresas de los diferentes países.

En la feria de Hannover-Messe 2016 se presentó el Comité de Estandarización de Industria 4.0 cuya finalidad es el impulso de estándares a nivel internacional (*Standardization Council i4.0*: <https://sci40.com>).

LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Aunque como se comentó anteriormente, el documento original de Industria 4.0 del año 2013 ya consideraba las cuatro etapas de la Revolución Industrial (Figura 1.1) y se siguió hablando del tema en los años 2014 y 2015, fue el Foro de Davos en enero de 2016 el que lanzó la nueva tendencia y consolidó el nacimiento de la Cuarta Revolución Industrial.

La edición de 2016 del Foro de Davos organizado por el *World Economic Forum (WEF)* que se suele celebrar anualmente, en la ciudad suiza de Davos, a mediados de enero, tuvo como tema o lema central “La Cuarta Revolución Industrial” y anunció la consolidación y el despliegue de esta nueva revolución industrial.

Dada la resonancia mundial del desarrollo del Foro y de sus conclusiones, así como la publicación de estudios previos y posteriores a sus reuniones y debates, el término Cuarta Revolución Industrial llegó con mayor impacto a organizaciones, empresas, Administración y Gobierno, industria, etc. Durante todo el año 2016 se habló de esta nueva revolución tecnológica (ya, el gurú tecnológico Jeremy Rifkin había anunciado en una de sus obras, lo que él llamaba *Tercera Revolución Industrial* que en realidad coincide casi en todo su contenido con la nueva denominación de Cuarta Revolución Industrial) y los retos y oportunidades que traería consigo, así como los riesgos a los que la sociedad se encaminaba sino se tomaban las medidas oportunas acorde con las grandes innovaciones que se anunciaban.

Cuarta Revolución Industrial ha sido el mantra o el nuevo paradigma tecnológico que, desde enero de 2016 hasta la actualidad llena medios de comunicación tradicionales y sociales junto con todo tipo de informaciones y estudios de investigación, eventos internacionales, publicaciones diversas, etc.

Klaus Schwab, fundador y presidente del World Economic Forum, durante el Foro de Davos 2016 y en numerosas publicaciones suyas durante el mismo año (a destacar su excelente libro *La Cuarta Revolución Industrial*), organizó y publicó los impulsores tecnológicos de la cuarta revolución industrial en tres grandes grupos o megatendencias interrelacionadas entre sí: físicas, digitales y biológicas (véase Capítulo 1).

La edición 2017 del Foro de Davos celebrada como siempre en el mes de enero, con un récord de 3.000 invitados, más de 400 reuniones y como siempre con grandes líderes políticos y empresariales de nivel mundial, tuvo como lema central *Liderazgo Responsable y Receptivo* y se ha centrado en los cuatro desafíos globales del liderazgo para 2017: fortalecer la colaboración industrial, revitalizar el crecimiento económico, reformar el capitalismo y **prepararse para la Cuarta Revolución Industrial** que está redefiniendo la forma en que vivimos y trabajamos.

El futuro del empleo en la Cuarta Revolución Industrial

Un informe del WEF «*The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution*» presentado en

enero de 2016 en el Foro de Davos y que ha tenido una repercusión mundial directamente en los foros de empleo y sobre todo en organizaciones y empresas, administración y gobiernos, aventuraba como sería la situación del empleo laboral a consecuencia del despliegue de la cuarta revolución industrial.

La digitalización de la industria supondrá la desaparición de 7,1 millones de empleos y la creación de 2,1 millones de nuevos empleos en nuevos roles profesionales entre 2015 y 2020, debido a la automatización de tareas y la desaparición de intermediarios. En resumen, una pérdida de 5 millones de empleos para 2020, de los cuales dos tercios (4,76) se concentrarán en tareas de tipo administrativo y 1,61 millones en actividades productivas y manufactureras.

OBJETIVOS, APRENDIZAJE Y LECTURA

La obra que tiene en sus manos pretende analizar el fenómeno de la nueva revolución industrial, una revolución tecnológica impulsada por la Industria 4.0 y un conjunto de tecnologías habilitadoras que están haciendo posible llegar esta revolución a todos los ámbitos y sectores de la sociedad. La experiencia del autor, en numerosas conferencias, seminarios, cursos y talleres en España, Latinoamérica y Caribe entre los años 2013 a 2017 sobre el tema central de Industria 4.0, sus tecnologías habilitadoras y los cambios sociales y tecnológicos que se están produciendo y se esperan, le han llevado a marcar como objetivos del libro, los siguientes:

- El conocimiento de la Industria 4.0 -tanto a nivel teórico como práctico y el impacto social previsto- desde su concepción inicial en Alemania, impulsado por Acatech, el Gobierno alemán y sus grandes empresas industriales.
- Adquirir los conocimientos básicos necesarios para la comprensión de la nueva Cuarta Revolución Industrial, los retos, oportunidades y riesgos que trae consigo y la necesidad ineludible de la concienciación sobre su advenimiento social.
- El conocimiento de todas las tecnologías habilitadoras de la Industria 4.0 y, por consiguiente, de la Cuarta Revolución Industrial, desde la **Internet de las Cosas, Big Data y Analítica de datos**, la **Inteligencia Artificial** y la **Nube**, a la **Ciberseguridad** pasando por la nueva transformación digital de las ciudades en **Smart Cities (Ciudades Inteligentes)** y la **Robotización** de la industria.

- Concienciar de la necesidad de digitalización a organizaciones y empresas, y, en consecuencia, conocer el proceso de transformación digital de la empresa y de la industria para su conversión en empresa e industria digital, con los soportes de Industria 4.0.
- Conocimiento de las nuevas tecnologías disruptivas y de impacto y de las nuevas tendencias tecnológicas asentadas durante el año 2016 y que se espera convertirán en tecnologías de amplia aceptación social tanto a nivel usuario como empresarial entre los años 2017 y 2020. Se estudiarán además de las tecnologías citadas en apartados anteriores: realidad virtual y realidad aumentada -junto con las futuras *realidad mixta* y *realidad fusionada*- nuevas tecnologías móviles (celulares) tales como redes 5G y tarjetas e-SIM, drones, impresoras 3D y fabricación aditiva, tecnologías wearables (ponibles), **blockchain** (las cadenas de bloque) -la tecnología de mayor crecimiento e impacto en la banca y finanzas, así como en otros sectores relacionados-, tecnologías financieras *fintech*. De modo especial se estudiará la robótica y, especialmente, los robots colaborativos (*cobots*) y los robots virtuales o asistentes virtuales (*bots* y *chatbots*). Se prestará especial atención a la tecnología de software conocida como **gemelos digitales** (*digital twins*) que parece pueda llegar a tener una gran repercusión en los procesos de fabricación industrial de los próximos años.
- Conocer el impacto de los algoritmos en la vida de organizaciones y empresas, así como la naciente disciplina de economía de algoritmo, soporte importante en la nueva economía digital.
- Conocer los principios básicos de la economía colaborativa, otro de los nuevos pilares de la economía digitales, así como las aplicaciones y sectores de impacto más destacados, junto con las normativas legales de implantación para las empresas colaborativas.
- Introducir al conocimiento de la mencionada tecnología **blockchain** (cadena de bloques), una de las tecnologías disruptivas de mayor impacto mediático -al ser la tecnología soporte de la criptomoneda *bitcoin*, entre otras- y que grandes

pensadores y estrategias de gestión empresarial auguran un excelente porvenir y que algunos comparan pueden llegar a tener un impacto similar al que en su día tuvo el nacimiento de Internet y la Web.

- Conocer el concepto de ciudad inteligente (*Smart City*), su infraestructura, y las normativas y certificaciones nacionales e internacionales para el reconocimiento de una ciudad como inteligente, así como la arquitectura y marcos de valor que deberá asumir una ciudad para su conversión de ciudad tradicional a ciudad inteligente.
- Concienciación de los riesgos de la privacidad y protección de datos junto con la necesidad de usar una ética específica de la Industria 4.0 y la 4RI.
- Conocer las tecnologías disruptivas que las grandes consultoras y empresas multinacionales prevén para los próximos años con el horizonte en el 2020.

RECONOCIMIENTO

Este libro se ha realizado en el seno del proyecto de investigación “*Ciencia, Tecnología y Sociedad: Problemas políticos y éticos de la computación en nube como nuevo paradigma socioeconómico*” (Referencia: FFI2013-46908-R).

CONTENIDO Y ESTRUCTURA DEL LIBRO

Para tratar de cumplir los objetivos anteriores, el libro se ha organizado en tres partes:

PARTE I. Origen y fundamentos de industria 4.0. Se describe en ella el origen, evolución y los fundamentos tecnológicos, industriales y sociales de la Industria 4.0, junto con sus tecnologías habilitadoras y la necesaria transformación digital de las organizaciones y empresas. Consta de tres capítulos:

1. *industria 4.0 y la cuarta revolución industrial.* El capítulo describe el nacimiento y evolución de la nueva revolución tecnológica, junto con el nacimiento de Industria 4.0, término acuñado en Alemania entre la academia (ACATECH y el DFKI), la industria y la empresa, y el Gobierno Alemán. Se describen y analizan las tendencias tecnológicas propuestas en los documentos iniciales y en sus presentaciones oficiales.

2. *Tecnologías facilitadoras de la industria 4.0.* Se describen en el mismo las tecnologías que complementan a las tecnologías fundamentales contempladas en el capítulo 1: desde drones, a tecnologías *wearables*, gamificación, las consolidadas tecnologías de realidad aumentada y realidad virtual, junto a las emergentes realidad mixta y realidad fusionada, la actualización de las tecnologías celulares (móviles) con la tendencia futura de las redes 5G y la tarjeta e-SIM, así como el impacto de la geolocalización potenciada por las citadas redes móviles y el Internet de las Cosas.
3. *La transformación digital en organizaciones y empresas.* La digitalización de las organizaciones y empresas requieren de una transformación digital. Se describen sus fundamentos, así como el proceso necesario para la conversión de una empresa tradicional en una empresa digital. Se analizan dos estudios presentados en 2016 de gran resonancia mediática: *España 4.0* publicado por Siemens y el *I Estudio de transformación digital de la empresa* realizado por Territorio Creativo y LSEE.

PARTE II. Los pilares tecnológicos de la cuarta revolución industrial.

Se centra en los pilares tecnológicos soporte de la Industria 4.0 y desencadenantes de la Cuarta Revolución Industrial: la nube (*cloud computing*), *big data*, Internet de las Cosas, las ciudades inteligentes, la Inteligencia Artificial y la computación cognitiva, la robótica, en especial los *cobots* (robots colaborativos) y los *bots/chatbots* (robots virtuales o asistentes virtuales) y por último el necesario estudio de la ciberseguridad.

4. *La nube (cloud computing).* El soporte de la nueva revolución industrial se sustenta en la nube como infraestructura tecnológica global con despliegue universal a través de sus centros de datos distribuidos a lo largo y ancho del mundo por empresas proveedoras, así como restantes empresas, organizaciones y administraciones públicas. Se estudian los modelos de nube y criterios para migración y contratación de servicios de la nube.
5. *Big data: el poder de los datos.* El aluvión o avalancha de datos que se han producido y se siguen produciendo es la base de este capítulo que estudia sus características fundamentales, los tipos y fuentes de datos, así como la arquitectura típica del proceso de

big data. Se describen además el concepto de datos abiertos (*open data*) como un subconjunto de *big data*, pero de gran impacto por la trascendencia para el funcionamiento en las compañías y beneficios para el ciudadano.

6. *internet de las cosas*. Como se comentó en el capítulo 1, Internet de las Cosas estaba considerado por la iniciativa alemana Industria 4.0 la espina dorsal de toda la Industria 4.0. Internet de las cosas e Internet de los servicios articulaban los servicios necesarios para el diseño y construcción de las fábricas inteligentes y sensibles. Sin duda es el armazón sobre el que se sustentará toda la cuarta revolución industrial. Sus grandes oportunidades contrastan con sus grandes riesgos por lo que es necesario, y así se hace, describir los problemas inherentes a la privacidad y protección de datos.
7. *Ciudades inteligentes (smart cities)*. Las tecnologías de Internet de las Cosas, unidas a la **sensorización** (despliegue e instalación de sensores) están favoreciendo la creación de nuevas ciudades inteligentes y la conversión y adaptación de las ciudades tradicionales. La arquitectura de una ciudad inteligente está estrechamente relacionada con el análisis de los grandes volúmenes de datos y su conversión en conocimiento para toma de decisiones en beneficio del ciudadano y de las empresas e industrias asentadas en ella.
8. *Inteligencia artificial aplicada: computación cognitiva, bots y chatbots*. Los avances en tecnologías y algoritmos de aprendizaje automático y de aprendizaje profundo, han hecho que la inteligencia artificial aplicada esté llegando a la vida diaria de un modo práctico y eficiente. Una de sus aplicaciones prácticas más populares y de mayor resonancia están siendo los *bots* (robots virtuales) y los *chatbots* (bots conversacionales) que se estudian en el capítulo con la descripción de asistentes virtuales populares y la posibilidad de que cada empresa e industria puedan desarrollar los suyos propios.
9. *La robótica: los robots colaborativos (cobots)*. En el capítulo se estudia la robótica como una de las tendencias de mayor resonancia en la industria 4.0. Los robots colaborativos (*cobots*) se están convirtiendo en una de las piezas clave en el sector industrial, pero también en otros sectores, como la

administración, el turismo, la formación... En el capítulo se analizan los problemas en la generación y posibles pérdidas de empleo, así como los problemas legales que se comienzan a plantear para el uso de los robots en el trabajo sustituyendo a trabajadores humanos.

10. *Ciberseguridad*. Los retos y oportunidades de la ciberseguridad como rama de la seguridad de la información se analizan en el capítulo. Se describen las tendencias en ciberseguridad, la colaboración público-privada y de que forma la inteligencia artificial contribuye a la mejora de la ciberseguridad. También se analizan las estrategias de ciberseguridad nacionales e internacionales y se recomienda la necesidad de su implantación en las organizaciones y empresas. Se dedica un apartado especial para tratar del estado actual de la ciberseguridad en Latinoamérica y Caribe.

PARTE III. La llegada de la cuarta revolución industrial. Una vez descritas las tecnologías facilitadoras de la industria 4.0, es necesario analizar las razones relacionadas para el éxito, la llegada y el despliegue de la cuarta revolución industrial que se manifiestan en la analítica de datos, los algoritmos que facilitan esta actividad y el nacimiento de la nueva ciencia de datos, así como el estudio de la privacidad y protección de datos y como afectara en ambos sentidos en la cuarta revolución industrial

11. *Analítica de datos (big data analytics)*. La importancia de *big data* en la actualidad se deriva del análisis de esos grandes volúmenes de datos y como se convierten en conocimiento para una correcta toma de decisiones. Se describen los diferentes tipos de analítica, así como las métricas e indicadores principales de desempeño o de rendimiento (KPI). Se hace una breve introducción a una de las herramientas de analítica web más populares, Google Analytics.
12. *Algoritmos, economía colaborativa y blockchain: los nuevos pilares de la economía digital*. Los algoritmos se han convertido en uno de los métodos más eficaces para la gestión de la empresa e industria y de una gran relevancia en el desarrollo de la economía de algoritmos; se han convertido en un servicio y comienzan a emerger plataformas o tiendas de algoritmos al igual que ha sucedido estos años con las tiendas de *apps*. La

necesidad de una ética de algoritmos se ha convertido en una necesidad ineludible de la 4RI. Así mismo se realiza una introducción a la economía colaborativa (aplicaciones y sectores de impacto) y a las tecnologías disruptivas *blockchain* (cadena de bloques).

13. *Ciencia de datos (data science)*. La ciencia de datos se ha convertido en una disciplina científica que tiene contenidos de varias otras ciencias como las matemáticas, la estadística, la informática, las ciencias de la computación... y la figura del científico de datos se ha convertido en una de las profesiones más demandas y competitivas del actual mundo laboral. En el capítulo se estudian ambos conceptos y la recomendación de un buen uso de la ciencia de datos.
14. *Privacidad y protección de datos en la cuarta revolución industrial: riesgos y oportunidades*. La 4RI traerá muchos y grandes beneficios, pero también trae el riesgo asociado de un aumento de la desigualdad y una creciente preocupación por la brecha digital que se puede producir entre las personas con formación para afrontar la 4RI y los que no se encuentren preparados y puedan quedar desplazados. Se analizan las leyes de privacidad de la Unión Europea como exponente a seguir en organizaciones y empresas, así como un modelo para la Administración Pública y los Gobiernos.
15. *El futuro tecnológico, dos realidades: industria 4.0 y cuarta revolución industrial (tendencias tecnológicas 2017-2020)*. En este capítulo a modo de epílogo se analizan las tecnologías emergentes y disruptiva que se esperan para el último trienio de la década, así como el despliegue de la Cuarta Revolución Industrial en el mundo hiperconectado y ubicuo al que camina la actual sociedad con el advenimiento de las futuras redes 5G integradas con el resto de las tecnologías de la Industria 4.0 analizadas ya en la obra.

En **CARCHELEJO** (Jaén), Sierra Mágina (Andalucía), España
y en **Ciudad de México** (CDMX), México

Junio, 2017
EL AUTOR

CAPÍTULO 1

INDUSTRIA 4.0 Y LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Industria 4.0 ha sido un término acuñado por el gobierno alemán con el soporte de industrias alemanas, para describir la digitalización de sistemas y procesos industriales, y su interconexión mediante el **Internet de las cosas** para conseguir una mayor flexibilidad e individualización de los procesos productivos. Es una visión de la fábrica del futuro o **fábrica inteligente**. La transformación digital de la industria y las empresas con la integración de las nuevas tecnologías disruptivas como **Big Data**, la **Nube** y la **Ciberseguridad**, todo ello enmarcado en las **Ciudades Inteligentes (Smart City)** está produciendo el advenimiento y despliegue de la **Cuarta Revolución Industrial**.

La conectividad de las máquinas y el análisis de grandes cantidades de datos en tiempo real dibujan nuevos modelos de producción y sistemas de fabricación¹. En el año 2020 habrá 50.000 millones de dispositivos conectados en un mundo con más de 7.000 millones de habitantes. En este número ya no sólo se cuentan las computadoras personales (*laptops*), las tabletas, los teléfonos inteligentes, videoconsolas... sino todos los objetos conectados entre sí y a través de la red Internet. Las tendencias de conectividad se consolidan en torno al Internet de las cosas (**IoT**, Internet of Things, **IdC** en español). IoT es una plataforma gigantesca en la que confluyen nuevas y potentes tecnologías como **M2M** (conexión máquina a máquina, entre máquinas), **Big Data** (análisis de grandes volúmenes de datos, especialmente en la nube), la fabricación aditiva de modelos digitales (**impresoras 3D**) o los dispositivos ponibles, vestibles o llevables (*wearables*), relojes inteligentes, anillos inteligentes, ropa inteligente, etcétera.

Los conceptos fundamentales nacen de la digitalización del mundo físico que impulsarán el crecimiento económico; la revolución tecnológica que viene —conocida por muchos como la cuarta revolución industrial— cambiará la industria tanto o más que el internet de consumo ha cambiado los medios, las comunicaciones, el ocio y la publicidad en la última década².

La nueva tecnología fusiona *big iron* (gran hierro) con *big data* (datos grandes) para crear máquinas brillantes, señalaba Jeff Immelt, presidente de General Electric, en un documento industrial publicado a finales de 2012 —actualizado en junio de 2013—, acuñando, a su vez, el término **Internet Industrial**³. Siemens ha denominado a esta nueva industria emergente **Industria 4.0** (el rol de la automatización industrial) y **fabricación inteligente** (*smart facturing*): “un modelo en el que los productos contendrán en sí mismos los requisitos de producción, instalaciones con producción integrada de toda la cadena de valor y flexibilidad de intervenir en el proceso de producción sobre la base de la necesidad real, lo que implicará un cambio en cómo se hacen las cosas”⁴. Texas Instruments también ha recurrido a utilizar el término **Smart Factory**⁵.

LAS CUATRO REVOLUCIONES INDUSTRIALES

La **cuarta revolución industrial** (origen del término **Industria 4.0**) hace referencia a las cuatro fases de la revolución industrial:

- *Primera revolución industrial*. Máquinas de vapor y ferrocarril en el siglo XIX.
- *Segunda revolución industrial*. Motores eléctricos y producción en masa a principios del siglo XX. Aparece el motor de combustión, se desarrolla el aeroplano y el automóvil, y como grandes inventos aparece el teléfono y la radio.
- *Tercera revolución industrial*. Automatización y la informática en los años setenta del siglo XX.
- *Cuarta revolución industrial*. Los actuales *sistemas ciberfísicos* que recopilan y procesan información, toman decisiones inteligentes y ejecutan tareas en entornos cambiantes.

La cuarta revolución industrial ha seguido a los procesos históricos constituidos por las revoluciones anteriores. La primera marcó el proceso de la producción manual a la mecanizada (entre 1760 y 1830) gracias a novedades como el motor de vapor. La segunda, alrededor de 1850, trajo la electricidad que, a su vez, permitió la fabricación masiva de productos con el soporte del teléfono y de la radio. La tercera revolución se produjo con la llegada de la electrónica y las tecnologías de la información y las comunicaciones, consiguiendo la automatización de la fabricación, así como el consumo masivo de la información

por los usuarios a nivel personal y en la empresa, por la aparición del computador personal PC creado por IBM y presentado en 1981. Esta tercera revolución en la que vivimos actualmente y que está dando paso a la cuarta revolución industrial que apenas estamos comenzando a vivir.

En la transición entre la tercera y la cuarta revolución industrial que analizaremos en el capítulo, han surgido en los primeros años de la segunda década del siglo XXI (y antes de consolidarse la iniciativa Industria 4.0 en Alemania y su consiguiente cuarta revolución industrial, que como veremos más adelante, surgieron entre 2011 y 2013, fecha de consolidación de ambos términos) dos propuestas con denominación de “Tercera Revolución Industrial” que, en realidad, entendemos coinciden con la actual cuarta revolución industrial. Estas dos propuestas fueron lanzadas por dos influyentes autoridades. Una de ellas, Jeremy Rifkin, conocido gurú de la sociología y la tecnología que, en 2011 publicó una de sus obras emblemáticas y de gran impacto mundial: “La Tercera Revolución Industrial”; y la otra autoridad, en este caso no humana sino medio de comunicación, la revista *The Economist* —la referencia mundial en el ámbito de la economía y los negocios— que publicó un dossier en abril de 2012 en el que pronosticaba *La tercera revolución industrial: la fábrica del futuro*. Es decir, si unimos las dos publicaciones de Rifkin y *The Economist*, en realidad tenemos las bases de la cuarta revolución industrial cuya iniciativa lanzó Alemania, como veremos más adelante, y que ha consolidado el Foro de Davos al principio de 2016 en su edición anual, en que ubicó como tema principal de debate “El dominio de la cuarta revolución industrial”, donde se terminaron de asentar los principios y tecnologías que soportan esta nueva revolución industrial.

La cuarta revolución industrial trae consigo una tendencia a la automatización total de la manufactura (fabricación). Su nombre proviene de la estrategia de alta tecnología que Alemania lanzó como idea importante en 2011 y que se consolidó en 2013 con el lanzamiento oficial, apoyado por su Gobierno Federal, de la Cuarta Revolución Industrial con el soporte de Industria 4.0 y que veremos con más detalle en los próximos apartados. La estrategia de alta tecnología propone llevar, como líder mundial que es en fabricación, su producción a una total independencia de la mano de obra humana.

La automatización se basa en los **sistemas ciberfísicos** facilitada por la **Nube** (*cloud computing*) y el **Internet de las Cosas**, con la ayuda indispensable de la **fabricación aditiva** mediante las **impresoras 3D** y, además, el soporte indispensable de la **inteligencia artificial** y de **big data**, como tecnologías clave para la conversión de los grandes volúmenes de datos que se comenzaban a generar en conocimiento y su uso eficiente en la toma de decisiones.

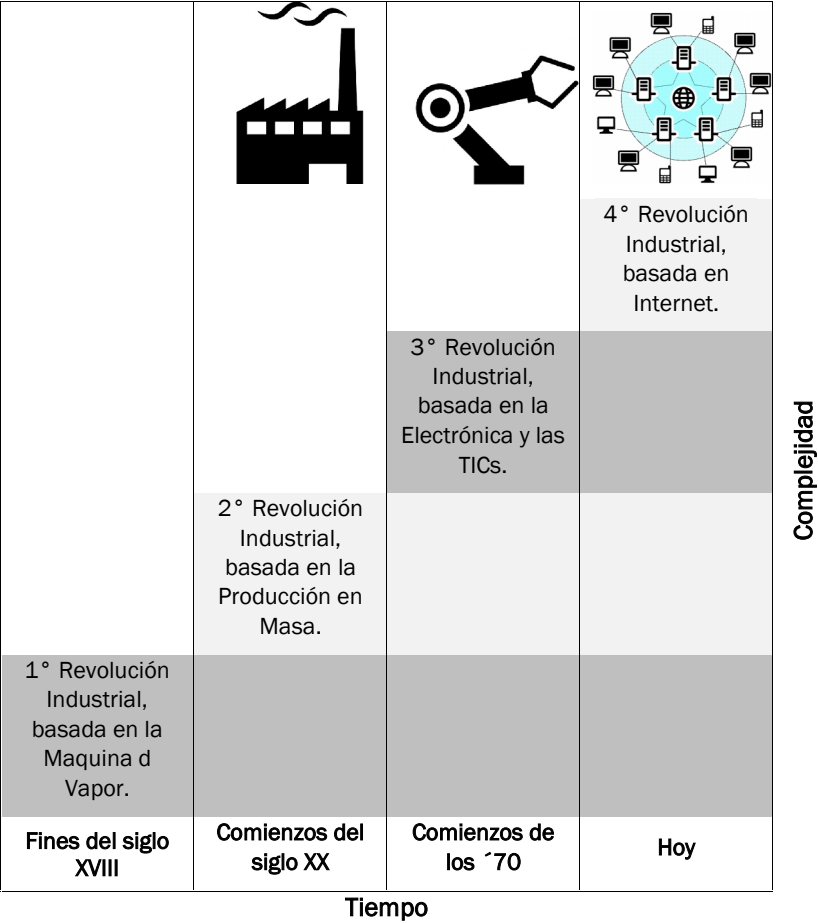


Figura 1.1 Las cuatro etapas de la revolución industrial.
Fuente: DFKI 2011, citada en ACATECH (abril, 2013: 13).

Los sistemas ciberfísicos combinan máquinas físicas y tangibles con procesos digitales, y son capaces de tomar decisiones descentralizadas y de cooperar entre ellos y con los humanos mediante el citado Internet de las Cosas. Con estos soportes tecnológicos nos dirigimos hacia las fábricas inteligentes y las empresas podrán crear redes inteligentes capaces de controlarse a sí mismas, a lo largo de toda la cadena de valor.

La **Industria 4.0** es el producto más tangible de la cuarta revolución industrial y está favoreciendo la **fabricación inteligente** en un marco revolucionario para diseñar, implantar y gestionar ecosistemas complejos que proporcionan

información en tiempo real y posibilitan las interacciones autónomas entre máquinas, sistemas, objetos y cosas. Este modelo permite sacar el máximo partido y rendimiento del *Internet de las cosas (IoT)*, la *nube*, los *big data* y la analítica de datos, la inteligencia artificial, las aplicaciones de última generación y la ciberseguridad.

PRIMERA Y SEGUNDA REVOLUCIONES INDUSTRIALES

La **Revolución Industrial** o **Primera Revolución Industrial** según la define la enciclopedia Wikipedia⁶ es «el proceso de transformación económica, social y tecnológica que se inició en la segunda mitad del siglo XVIII en Reino Unido y que se extendió unas décadas a gran parte de Europa Occidental y Norteamérica, y que concluyó entre 1820 y 1840». Lógicamente no hay unanimidad en las fechas, pero sí aproximadamente en esas décadas, aunque también se suele prolongar sobre todo el impacto hasta principios de la década de los setenta del siglo XIX, que también suele ser el origen de la segunda revolución industrial.

La **primera revolución industrial** supuso posiblemente el mayor cambio socioeconómico, tecnológico y cultural en la historia de la humanidad desde el neolítico. La economía basada en el trabajo manual fue reemplazada por otra dominada por la industria y la manufacturera. Se caracteriza porque la tecnología celebra: 1) el nacimiento del ferrocarril, que revoluciona y comienza a permitir el transporte de personas y mercancías en grandes dimensiones; 2) la máquina de vapor, que incrementa notablemente la capacidad de producción con el carbón como materia prima, ya que era el combustible de la máquina de vapor, descubierta por James Watt (1785); 3) la principal fuente de energía será el carbón, aunque va naciendo también el petróleo como materia prima. Un factor de impacto es el éxodo de personas del campo a la ciudad y el surgimiento del sector obrero.

La **segunda revolución industrial** se convierte en un proceso de innovaciones tecnológicas, científicas, sociales y económicas producidas en paralelo con la consolidación del capitalismo como sistema económico. Aparece el motor de combustión, se desarrolla el aeroplano y el automóvil, y como grandes inventos aparece el teléfono y la radio. Las principales fuentes de energía son el gas y el petróleo. Aparecen materias primas derivadas del petróleo y otras que no proviene de la naturaleza tales como el plástico y otros tipos de tejidos que se van a usar en la industria textil; la madera deja de usarse en profusión y la utilización de minerales aumenta⁷.

En esta época cobra protagonismo el movimiento obrero y surge la primera Internacional en 1864 y la segunda en 1889, con lo que el concepto de clase obrera se consolida.

LA TERCERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL (RIFKIN)

La tercera revolución industrial es conocida también como revolución de la inteligencia (RCT)⁸ y es un concepto creado por Jeremy Rifkin, uno de los grandes pensadores actuales y consultor tecnológico y de futuro de gobiernos de países occidentales como Estados Unidos o Alemania. Este concepto fue avalado por el Parlamento Europeo en una declaración formal aprobada en junio de 2006.

Jeremy Rifkin publicó en 2011 *La Tercera Revolución Industrial*⁹ y supuso el detonante de un nuevo concepto acuñado para representar el impacto de la digitalización en la sociedad, junto a los cambios, sociales, económicos y tecnológico que está trayendo consigo. Su visión global de una era económica poscarbón sostenible ha sido refrendada por Naciones Unidas¹⁰ y por la Unión Europea y ha sido adaptada por dirigentes mundiales como la canciller alemana Angela Merkel, el presidente francés François Hollande o el premier chino Li Keqian.

Rifkin plantea que la Segunda Revolución Industrial, alimentada por el petróleo y otros combustibles fósiles, está entrando en una espiral que conduce a un final peligroso, los precios de la energía y los alimentos están subiendo, el desempleo se mantiene alto, las deudas de los consumidores y el gobierno están disparándose y la recuperación se está ralentizando. Y lo que es peor, el cambio climático derivado de la actividad industrial basada en los combustibles fósiles se cierne sobre el horizonte. Mientras nos enfrentamos a la posibilidad de un segundo colapso de la economía global, la humanidad está desesperada por una nueva visión económica y un plan de desarrollo económico sostenible que nos lleve hacia el futuro¹¹.

También plantea Rifkin que la tecnología de Internet y las energías renovables están a punto de fundirse para crear una potente nueva infraestructura para una Tercera Revolución Industrial (TRI) que cambiará el mundo en el siglo XXI. De gran interés es el pensamiento de Rifkin que debido a que la energía renovable (solar, eólica, térmica, hidráulica y de biomasa) está ampliamente distribuida, una Tercera Revolución Industrial es más proclive a despegar más rápido en los países en desarrollo¹². Sin duda, si se cumplen estas previsiones, supondrá un gran impacto social y económico en los países en desarrollo y se podrá llegar a una era sostenible post-carbón a mediados de siglo.

La tercera revolución industrial se caracteriza en cuanto a tecnología por: microelectrónica como bases, computador como la máquina más destacada, Internet el gran dinamizador del cambio y el uso de la energía atómica y energías renovables¹³. En cuanto a sociedad y economía, se caracteriza por: comportamientos globales de los medios de comunicación, un incremento demográfico, un incremento del consumo y la mercadotecnia (marketing) y por la generalización de la formación universitaria¹³.

Helena Herrero, en la presentación en Bilbao “*Digitalizar la empresa*” en el Congreso Nacional de Directivos de APD “Reindustrializar para ganar”, planteaba que el mundo 4.0 se caracteriza por: mayor población, clases medias, megaciudades, escasez de recursos y ciberconexiones, y las tecnologías 4.0 están marcadas por cuatro tendencias muy diferenciadas: *Nuevo estilo de las tecnologías de la información* (TI) representadas por *Big Data*, *Cloud*, *Movilidad* y *Seguridad*; *Internet de las cosas y de los servicios*; *el mundo digital 3D* y por la *sostenibilidad* ya que la tecnología se preocupará más que nunca de ser sostenible y velar por la escasez de recursos.

LA TERCERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL: LA FÁBRICA DEL FUTURO (*THE ECONOMIST*)

La prestigiosa revista *The Economist*, referencia mundial en temas de economía, publicó el 21 de abril de 2012 un informe titulado *Social Manufacturing* (“*A Third Industrial Revolution*”)¹⁴, el cual se centró en la producción manufacturera mundial y que afectará a la economía global. Este fenómeno lo denominó *Fabricación Social* y cambiará radicalmente la forma en que se fabrican los productos. Esta revolución se sustentará en la *digitalización de la fabricación*, y *The Economist* consideró que se estaba a las puertas de un cambio social gigantesco. En la práctica la impresión 3D es la espina dorsal de esta nueva fabricación. Así en el proceso industrial, los diseñadores e ingenieros crean objetos tridimensionales con sus computadores. Cuando se hace “clic” en el botón “imprimir”, en una sala contigua o en una sala que puede estar en otro país, una impresora 3D empieza a moverse y, capa a capa, el objeto se crea. En lugar de tinta, la impresora utiliza materiales con base en plástico o nailon. *The Economist* anunció que ya en esa época había empresas y emprendedores fabricando calzado listo para llevar, piezas especiales para vehículos o fundas para teléfonos iPhone personalizados. La revista sostiene que la fabricación aditiva (nombre más fiel de impresión en 3D) es la punta de lanza de la revolución actual, o como la denominó, tercera revolución industrial o la era de la impresión 3D.

La fabricación digital o fabricación aditiva es una nueva forma de diseñar y fabricar productos, y también el concepto que se tiene de fábrica. En esencia, la fábrica del futuro se apoya en la fabricación digital. Pero entonces, ¿qué es la fabricación digital? Bajo esta denominación nos estamos refiriendo a la forma en que fabricamos los productos. Felgueroso¹⁵ explica que “el concepto de fabricación, desde la época de Atapuerca, que ha seguido la humanidad ha sido el mismo: hemos partido de materiales que nos ofrecía la naturaleza, como el tronco de un árbol o una piedra para mediante herramientas de corte, “eliminar” material hasta obtener el producto final (una canoa, un hacha...). En esencia, han evolucionado las tecnologías, pero el concepto no ha variado: “se elimina el

material que tanto le costado a la naturaleza unir para obtener mediante métodos substractivos el producto final deseado”.

Por primera vez en la historia y desde hace unos años, existe la posibilidad de fabricar de un modo diferente, aditivamente y semejando a la naturaleza, lo cual cambia radicalmente la manera de diseñar y fabricar los productos. Los diseñadores e ingenieros de productos, sigue resaltando Felgueroso, tienen hoy limitadas sus capacidades creativas por las restricciones que imponen los procesos productivos convencionales. Por el contrario, la fabricación aditiva (impresión 3D) ofrece libertad en la concepción de un nuevo producto. En definitiva “lo que puede imaginar lo puede fabricar”¹⁶.

Todo en las fábricas del futuro, señala *The Economist*, funcionará con software inteligente. La digitalización en la fabricación (el sector manufacturero) tendrá un efecto disruptivo casi de tanto impacto como en otras industrias que se han digitalizado tales como equipos de oficina, telecomunicaciones, fotografía, música, edición y el cine, y los efectos no se limitarán a los grandes fabricantes; realmente, gran parte de lo que viene potenciará a pequeñas y medianas empresas y a los emprendedores individuales. El lanzamiento de nuevos productos se volverá más fácil y más barato. Las comunidades que ofertan impresión en 3D y otros servicios de producción serán un poco como Facebook y se están formando en línea, es decir un nuevo fenómeno que se podría llamar fabricación social (*social manufacturing*)¹⁷.

Las fábricas del futuro, ya en 2012, no eran ciencia ficción. Son una realidad del presente. En muchos países de Europa (Alemania entre otros) y en Estados Unidos existen ya empresas diseñando, fabricando y vendiendo productos de alto valor para sectores como el aeronáutico, médico, implantes... creando un gran valor añadido y generando unos resultados en calidad y en rentabilidad francamente muy positivos. La fábrica del futuro —sigue pronosticando *The Economist*— no dependerá de costosos utillajes de fabricación y, al contrario, la actividad de alto valor añadido permite estar cerca del consumidor final y responder ágilmente a los cambios de la demanda de manera local.

Existen ya empresas surgidas de la combinación de la fabricación aditiva con las inmensas posibilidades que ofrece Internet y las redes sociales. El potencial de ambas es inmenso, pero si se unen, se comprueba que con un poco de imaginación estamos ante nuevos modelos de negocio muy interesantes que permitirán transformar la forma en que hacemos las cosas y, con ello, nuestra economía. Hoy ya es posible, por ejemplo, enviar por Internet un avatar personalizado generado por su videojuego preferido y recibirlo físicamente en una semana en tu casa¹⁸.

EL PUENTE A LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

La digitalización puede afectar y transformar muchos sectores. Las *fábricas inteligentes* que están utilizando las nuevas ventajas tecnológicas permiten incorporar personalización de las características de cada producto para un cliente en el diseño, la configuración, la producción, la operación e incluso en el reciclado del producto. Herrero¹⁹ plantea que no solo afecta a la industria de la fabricación, sino que está también revolucionando la forma en que entendemos los negocios²⁰. Hoy empresas tecnológicas están cambiando diversas industrias, como es el caso de la hotelera y la del taxi. La industria hotelera donde las reservaciones se realizan en su mayoría por Internet, y la industria del taxi, donde una aplicación como Uber está revolucionando el servicio: prueba de ello es que, a finales de noviembre de 2015, esta joven empresa estadounidense había sido valorada en unos 20.000 millones de euros, cifra mucho más alta que grandes empresas españolas.

Las tecnologías rompedoras (disruptivas) actuales nos encaminan hacia una economía colaborativa, en la que se crean comunidades de usuarios y proveedores, transformando completamente sus sectores.

La digitalización viene acompañada de innovaciones tecnológicas que cambiarán la industria tanto o más de lo que internet lo está haciendo con los medios, los negocios, la empresa y sociedad en general. La digitalización implica un proceso de transformación digital en las organizaciones y empresas que será necesario asumir por la alta dirección y todo su cuerpo de empleados y que, por su importancia en la cuarta revolución industrial, le dedicaremos un capítulo completo (capítulo 3).

INDUSTRIA 4.0: ORIGEN, EVOLUCIÓN Y FUTURO

La cuarta revolución industrial, conocida comúnmente como Industria 4.0, toma su nombre de una iniciativa lanzada en Alemania en 2011, liderada por hombres de negocio, políticos y académicos que la definieron como “un medio para aumentar la competitividad de la industria manufacturera (de fabricación) de Alemania a través de la creciente integración de los sistemas ciberfísicos (CPS, *Cyber-Physical Systems*) en los procesos de fabricación”.

CPS es un término genérico utilizado para representar la integración de las máquinas inteligentes, conectadas a Internet, y la mano de obra humana. Esta iniciativa se plasmó en la publicación en 2013 del informe *Industria 4.0 Working Group*, realizado por un gran conglomerado, en cantidad y calidad, de profesionales de la industria, expertos de inteligencia artificial, economistas y profesores universitarios, impulsados por la ACATECH (Academia de Ciencias e Ingeniería de Alemania). El gobierno alemán aprobó con rapidez la idea y anunció

que adoptaría una Estrategia de Alta Tecnología (High Tech Strategy) para preparar a la nación para esta nueva revolución industrial.

El proyecto original de Industria 4.0 de Alemania y su visión de la Cuarta Revolución Industrial fue presentada a Wulff, presidente federal de la República Alemana, durante la visita que realizó al DFKI (German Research for Artificial Intelligence). La presentación provista de tendencias y sistemas actuales en la industria y en la inteligencia artificial, incluyó las tendencias del sector TI (IT), especialmente Internet de las cosas e Internet 3D y servicios que conectan el material y los mundos digitales a través de sensores inalámbricos y memorias digitales de productos. En la presentación se comentó que “de modo similar a los servicios de *social media* en los cuales las personas intercambian información, ahora los productos manufacturados y los objetos de la vida diaria pueden comunicar información entre ellos sobre su estado, entorno, procesos de producción o planificación de mantenimiento”.²¹

La iniciativa Industria 4.0 no solo encontró un apoyo masivo en Alemania, sino que también se le ha prestado atención en muchas otras partes del mundo. Los Estados Unidos siguieron pronto la iniciativa y estableció un consorcio industrial de Internet, en 2014, que fue liderado por gigantes de la industria tales como General Electric, AT&T, IBM e Intel. En España, la comunidad autónoma de Euskadi (País Vasco) fue la pionera en lanzar su iniciativa de Industria 4.0; y a nivel nacional, el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo anunció en julio de 2015, en colaboración con las empresas multinacionales españolas, Banco de Santander, Telefónica e Indra, la iniciativa **Industria Conectada 4.0** que fue presentada oficialmente, en octubre del mismo año, ya como proyecto oficial del estado, con ayuda presupuestaria dirigida a empresas que afrontasen la iniciativa.

El objetivo final que pretende el término Industria 4.0 acuñado por el gobierno alemán, era describir la digitalización de sistemas y procesos industriales y su interconexión mediante la Internet de las Cosas; en otras palabras, conseguir la transformación digital de la industria. Pese a todo el esfuerzo de propagación del término, en el caso alemán como origen del mismo, todavía muchas empresas de ese país siguen sin saber bien qué hacer con ese nuevo paradigma industrial y cómo posicionarse²². Uno de cada dos directivos de las industrias alemana, austriaca y suiza desconocen el término Industria 4.0; sólo una cuarta parte sí dice conocer el término, sin saber bien qué entender del mismo, y sólo la cuarta parte restante conoce bien los cambios que traerá consigo la Industria 4.0.

En España, el País Vasco está siendo pionero y el gobierno vasco lanzó una iniciativa para impulsar la Industria 4.0 haciendo propio el concepto y poniéndose un objetivo: que la industria vasca vuelva a alcanzar el 25% del PIB²³. Más tarde comentaremos la iniciativa a nivel nacional, de *Industria Conectada 4.0*.

El término Industria 4.0 ha hecho fortuna y tanto en Europa como en Asia y América, ya existen iniciativas sobre el mismo. En realidad, el significado

inherente al término es la creación del concepto de **fábrica inteligente** que ha sido impulsado por las empresas industriales alemanas Siemens y Bosch.

Industria 4.0 viene asociado con el nacimiento de la **Cuarta Revolución Industrial** y se corresponde con una nueva manera de organizar los medios de producción utilizando las tecnologías digitales y la información inteligente de datos a partir del *Big Data* —las enormes cantidades de datos que se podrán transmitir entre objetos inteligentes a través del Internet de las Cosas—.

El concepto fue utilizado por primera vez en 2011 en la Feria de Hannover (Salón de Tecnología Industrial). Posteriormente en 2013, el gobierno alemán encargó a una comisión de trabajo e investigación de la Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería de Alemania (ACATECH) un informe que detallara el significado y el posible poder del término.

Las tecnologías disruptivas tales como *Cloud Computing* (La nube), Computación Ubicua, Internet de las cosas (*IoT*, *Internet of Things*), *Big Data* y *Analytics*... o las tendencias de consumo como **BYOD** (*Bring Your Own Device*) están revolucionando la forma de entender la tecnología y el modo en que interactuamos las personas con ella. A la industria están llegando las tecnologías anteriores unidas a otras que ya se apoyan en el campo de los sensores, las redes inalámbricas, los objetos inteligentes... Así tecnologías ya clásicas como **M2M** (*Machine to Machine*) soporte de la comunicación entre máquinas y dispositivos, redes inalámbricas de sensores **WSN** (*Wireless Sensor Networks*) y la evolución de la Internet de las cosas en el Internet Industrial de las Cosas, **IIoT** (*Industrial Internet of Things*) o **IoE**, Internet de Todo (*Internet of Everything*), como prefiere denominarlo Cisco —el gigante mundial de las telecomunicaciones—.

INFORME FINAL INDUSTRIA 4.0 WORKING GROUP

La ya citada Academia Nacional de Ciencia e Ingeniería (ACATECH) de Alemania, presentó en abril de 2013 el informe final de Industrie 4.0 Working Group titulado *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0*, que fue patrocinado por el Ministerio Federal de Educación e Investigación alemán. En este informe, en el que colaboraron miembros de grupos de trabajo, numerosos autores y expertos técnicos, se presentó un amplio panorama de la visión de Industria 4.0 como parte de un mundo interconectado e inteligente; luego se expusieron cinco casos de estudio que mostraron aplicaciones y ejemplo reales del impacto de la Industria 4.0 en el sector de la fabricación inteligente.

El informe comienza con una exposición de los antecedentes de cómo se ha llegado a la cuarta revolución industrial con un gráfico explicativo (Figura 1.1) de las cuatro etapas de la revolución industrial que, a su vez, ya había sido publicado en el informe original del Centro de Investigación DFKI en 2011.

Constata el informe que el empleo de las tecnologías de la información y la comunicación (ICT, Information and Communication Technology) en las cuatro últimas décadas ha producido una revolución que ha conducido a una transformación radical del mundo en que vivimos y trabajamos, con un impacto comparable a lo que supuso la mecanización y la electrificación en la primera y segunda revolución industriales.

La evolución del PC en dispositivos inteligentes ha venido acompañada, continúa el informe, por una tendencia creciente de infraestructuras y servicios de TI proporcionados a través de servicios inteligentes (*cloud computing*). De igual forma, los potentes microcomputadores autónomos (sistemas embebidos) están creciendo mediante la interconexión mutua de redes inalámbricas, entre sí y con la red Internet. El resultado ha sido la convergencia del mundo físico y del mundo virtual (ciberspacio) en los sistemas ciberfísicos (Cyber Physical Systems, CPS).

A las tecnologías anteriores ha contribuido también la creciente introducción y penetración del entonces nuevo protocolo IPv6, que ofrece una cantidad enorme de direcciones de Internet disponibles y suficientes para permitir la conexión directa y universal de objetos inteligentes (50.000 millones de objetos interconectados para el año 2020 prevén las predicciones más optimistas).

El informe avanza en el concepto de Internet de las Cosas y Servicios que ahora permiten enlazar recursos de red, informaciones de objetos y personas. Los efectos de este fenómeno afectan también a la industria y a la evolución tecnológica que se ha definido como la cuarta etapa de la industrialización o Industria 4.0.

INDUSTRIA CONECTADA 4.0

La iniciativa **Industria Conectada 4.0** —proyecto lanzado por el Ministerio de Industria del Gobierno de España para promover la Industria 4.0 en este país— es la extensión del concepto Industria 4.0 a la realidad nacional española y se lanzó a finales de julio de 2015, habiéndose presentado ya el programa oficial y todo el proyecto el 8 de octubre de ese mismo año. El proyecto busca impulsar la **transformación digital** de la industria española mediante la actuación conjunta y coordinada del sector público y privado. Por parte oficial, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, y por parte privada, las empresas multinacionales españolas, Banco de Santander, Telefónica e Indra.

El proyecto Industria Conectada 4.0 contempla los denominados habilitadores digitales, que son el conjunto de tecnologías que hacen posible esta nueva industria que explota el potencial del Internet de las cosas. Estos habilitadores se agrupan en tres grandes categorías²⁴ (Figura 1.2).

		Clientes/usuarios Empleados Colaboradores		
		Proceso	Producto	Modelo de negocio
Aplicaciones de gestión intraempresa	Aplicaciones de gestión interempresas	• Soluciones de negocios • Soluciones de inteligencia (Big Data & Analytics) y control • Plataformas colaborativas		
Comunicaciones y tratamiento de datos		• Ciberseguridad • Computación y cloud • Conectividad y movilidad embebidos		
Hibridación mundo físico y digital		• Impresión 3D • Robótica avanzada • Sensores y sistemas		

Figura 1.2 Marco conceptual de habilitadoras digitales.

Fuente: Informe original “Industria Conectada 4.0”. Ministerio de Industria, Energía y Turismo (8 de octubre, 2015).

<http://www.industriaconectada40.gob.es/Paginas/Index.aspx#inicio>

- **Hibridación del mundo físico y digital** que permiten poner en relación el mundo físico en el digital mediante sistemas de captación de información o de materialización de la información digital en el mundo físico. Los habilitadores de mayor relieve en la actualidad según el informe:
 - Impresión 3D (impresión aditiva)
 - Robótica avanzada
 - Sensores y sistemas embebidos
- **Comunicaciones y tratamiento de datos.** La información anterior se canaliza y procesa. Son las tecnologías que permiten trasladar la información en forma segura desde los habilitadores de hibridación del mundo físico y digital hasta el siguiente grupo. Esos habilitadores son indispensables para que todos los restantes puedan funcionar de manera adecuada y son fundamentalmente:
 - Computación y *cloud* (computación en la nube)
 - Conectividad [*hiperconectividad*] y movilidad
 - Ciberseguridad

- **Aplicaciones de gestión *intraempresa/interempresa*.** La información alimenta a la tercera capa de habilitadores aplicando la inteligencia a los datos recibidos en aplicaciones de gestión. Conforman la capa de inteligencia o procesamiento de la información obtenida de los dos primeros bloques. Se consideran:
 - Soluciones de negocio
 - Soluciones de inteligencia (*Big Data* y *Analytics*) y control
 - Plataformas colaborativas

En el citado informe oficial presentado se insistía en la necesidad de la digitalización para mantener posiciones competitivas y hacía hincapié en la *hiperconectividad* y las nuevas tecnologías ya implantadas: la computación en la nube, el internet de las cosas, el big data y la *sensorización* (sensores, contadores inteligentes...) que permitirían que la industria pueda alcanzar la cuarta revolución industrial.

La industria 4.0 está soportada en cuatro grandes pilares, los tres citados del Internet de las cosas, la nube (*cloud*) y *Big Data*, y un cuarto: la Ciberseguridad. Son numerosos los estudios publicados desde el año 2015 sobre las tecnologías disruptivas de la Industria 4.0. Deseamos resaltar uno que ha tenido gran impacto en el mundo de la empresa e industria. Ha sido realizado por la consultora multinacional *Boston Consulting Group* y posteriormente lo ampliaremos. Este estudio define nueve pilares o parámetros de la industria 4.0. A los cuatro citados anteriormente añade:

- Robots autónomos [colaborativos, inteligentes,]
- Simulación 3D
- Sistemas integrados
- Realidad aumentada [geolocalización]
- Fabricación aditiva (impresión en 3D)

EL MODELO CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL DE DAVOS/SCHWAB

El influyente Foro de Davos (*World Economic Forum*) en su edición de 2016 celebrado en enero del mismo año en la ciudad suiza de Davos, tuvo como tema central de conferencias y debates «La Cuarta Revolución Industrial»²⁵ en su agenda global. Algunas cifras significativas del Foro de Davos de 2016 que reflejan su impacto global de las diferentes jornadas son: 2.500 participantes, 300 líderes mundiales destacados, 40 jefes de Estado y de gobierno, más de 140 países representados. Con ocasión del Foro de 2016 se presentó el libro *The*

*Fourth Industrial Revolution*²⁶ escrito por Klaus Schwab, director y fundador del Foro de Davos. Esta obra se ha convertido en una referencia para el estudio de la cuarta revolución industrial y nosotros así la utilizaremos.

Al principio de su introducción, Schwab nos anticipa que: «Nos encontramos al principio de una revolución que está cambiando de manera fundamental la forma de vivir, trabajar y relacionarnos unos con otros. En su escala, alcance y complejidad, la transformación que producirá la cuarta revolución industrial no se parece a nada que la humanidad haya experimentado antes». La cuarta revolución industrial se caracteriza por el protagonismo tecnológico y la impresionante confluencia de avances tecnológicos que abarcará amplios campos: la inteligencia artificial (IA), la robótica, el internet de las cosas (IoT), los vehículos autónomos, la impresión 3D, la nanotecnología, la biotecnología, la ciencia de materiales, el almacenamiento de energía y la computación cuántica, entre otras. A estas tecnologías referidas añadiremos otras tecnologías clave que comentaremos con detalle más adelante, tales como big data, cloud computing y ciberseguridad, como pilares de la cuarta revolución industrial.

Schwab reconoce también que algunos académicos y profesionales consideran la evolución no como una nueva revolución industrial, sino parte de la tercera revolución industrial, al igual que lo hicimos en los apartados que titulamos «La tercera revolución industrial de Rifkin y *The Economist*».

Asimismo, Schwab considera que hay tres razones principales para pensar que las transformaciones actuales no representan una tercera revolución industrial, sino una nueva y cuarta revolución industrial que ya está en marcha y desplegándose:

- *Velocidad.* Los avances tecnológicos evolucionan a una velocidad exponencial en lugar de a una velocidad lineal como suele suceder en las transformaciones anteriores. Las razones se deben a la interconectividad del mundo actual en el que una nueva tecnología genera a su vez otras nuevas y más potentes tecnologías.
- *Amplitud y profundidad.* La combinación de múltiples tecnologías está produciendo la revolución digital e irrumpiendo en todo tipo de industrias, en la economía y negocios, así como en las personas y la sociedad.
- *Impacto de los sistemas.* La transformación de los sistemas complejos se está produciendo entre países, empresas, industrias y la sociedad en su conjunto.

TENDENCIAS TECNOLÓGICAS (MEGATENDENCIAS)

La selección de tecnologías clave -megatendencias- que ha realizado Schwab y que recomienda observar se basa en la investigación realizada por el Foro Económico Mundial y en el trabajo de varios de los Consejos para la Agenda

Global que pertenecen al Foro. Las tecnologías de la **4RI** tienen una característica clave en común: «aprovechan el poder de penetración que tienen la digitalización y las tecnologías de la información [...]. La secuenciación genética, por ejemplo, no podría ser posible sin los avances en la potencia de cómputo y el análisis de datos [*big data*]. Del mismo modo, los robots avanzados no existirían sin la inteligencia artificial que, en sí misma, depende en gran medida de la potencia de cómputo».

Las megatendencias examinadas son agrupadas por Schwab (2016: 29-42) en tres grandes grupos, cada uno a su vez compuesto de impulsores o facilitadores tecnológicos: «físicos, digitales y biológicos, que se encuentran profundamente interrelacionados y las diferentes tecnologías se benefician entre sí, gracias a los descubrimientos y avances que cada grupo va logrando». Los avances en el campo tecnológico se enriquecen al fusionarse con otras áreas de conocimiento. La integración de los mundos físicos, biológicos y digitales afectan a todas las disciplinas y su impacto alcanza a la economía e industria, y están estrechamente relacionadas entre sí. En los próximos apartados y en los capítulos 2 y 3, examinaremos más en profundidad las tecnologías facilitadoras de la cuarta revolución industrial, varias de las cuales —sobre todo las tendencias físicas y digitales— coinciden, por lo que en este apartado sólo destacaremos aquellas tecnologías más centradas en el mundo físico y biológico.

Tendencias físicas

Las cuatro tendencias físicas destacadas por Schwab (2016: 30-33) son:

- Vehículos autónomos
- Impresión 3D (fabricación aditiva)
- Robótica avanzada
- Nuevos materiales

En lo relativo a nuevos materiales, Schwab menciona los diferentes tipos de materiales que están llegando al mercado y que considera tendrá gran impacto en amplios sectores industriales y sociales, aunque como muy bien señala, será difícil saber adónde conducirán los avances en nuevos materiales tales como: *nanomateriales* —el grafeno—, plásticos termoestables, nuevas clases de polímeros termoestables reciclables llamados «polihexahidrotiazinas» (PHT) que facilitarán la economía circular.

Tendencias digitales

Las tendencias tecnológicas reseñadas en el Foro de Davos —de las que ya hemos hablado y dedicaremos apartados y capítulos específicos— son: Internet de las Cosas y tecnologías financieras **blockchain** (cadenas de bloques o *libro de contabilidad distribuido*), con su aplicación más conocida, la moneda digital

(criptomoneda) *bitcoin*. Analiza también el nuevo modelo de «economía bajo demanda» o de «consumo colaborativo» [o **economía colaborativa**, término más popular] en el que se recogen nuevos negocios colaborativos como Uber, Airbnb, etcétera.

Tendencias biológicas

«Las innovaciones en el campo biológico —y la genética en particular— son cuando menos impresionantes». Menciona Schwab los avances en el Proyecto Genoma Humano, biología sintética (ADN), ingeniería genética.

También señala cómo las diferentes tecnologías se funden entre sí para enriquecerse mutuamente como el caso de la fabricación 3D, que se combinará con la edición genética con el propósito de producir tejidos vivos para la reparación y regeneración de tejidos (bioimpresión).

En cualquier forma, Schwab advierte de los grandes retos sociales, médicos, éticos y psicológicos que plantean todas estas tendencias y que, por consiguiente, han de resolverse o al menos ser abordadas apropiadamente.

RETOS Y OPORTUNIDADES DE LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Una lectura detenida de la obra de Schwab, así como de las intervenciones en el Foro de Davos, edición 2016, de otros ponentes, permite deducir algunos de los muchos beneficios, retos, oportunidades e inconvenientes que podrían limitar el potencial de la cuarta revolución industrial.

Beneficios

Algunos de los beneficios más destacados de la 4RI son:

- Asegurar el potencial para conectar miles de millones de personas a las redes digitales.
- Mejorar drásticamente la eficiencia de las organizaciones.
- Gestionar los activos en forma más sostenible, ayudando incluso a regenerar el medio natural.
- Creciente armonización e integración de muchas disciplinas y descubrimientos diferentes.
- Innovaciones tangibles fruto de las interdependencias son una realidad; por ejemplo, las tecnologías de fabricación digital pueden interactuar en el mundo biológico.
- Otro ejemplo de interdependencia: «diseñadores y arquitectos están ya combinando el diseño por computador, la fabricación aditiva, la ingeniería de materiales y la biología sintética para crear sistemas que involucran la

interacción entre microorganismos, nuestro cuerpo, los productos que consumimos e incluso los edificios que habitamos» (Schwab 2016:24).

- Creación de nuevos productos y servicios, tanto para los consumidores como para los proveedores.

Riesgos

Las ventajas de la nueva transformación que trae la cuarta revolución industrial son innumerables, pero también existen inconvenientes en forma de riesgos, privacidad... ya que vivimos en una época de grandes promesas y grandes peligros.

- La desigualdad como un desafío sistémico.
- Dificultad de las organizaciones para adaptarse al nuevo ritmo y los nuevos métodos.
- Necesidad de una transformación digital de una empresa.
- Cambio de posicionamiento de los gobiernos con respecto a los avances tecnológicos que podrían dejar de centrarse en tratar de regular para limitarse a capturar sus beneficios.
- Traslado del poder a quienes tienen mayores posibilidades de innovación y más recursos.
- Aparición de nuevos e importantes problemas de seguridad.
- Crecimiento de las desigualdades y fragmentación de las sociedades.

Oportunidades

- La cuarta revolución industrial está marcada por la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas y está sucediendo a gran escala y gran velocidad.
- La revolución afectará al mercado del empleo, el futuro del trabajo, la desigualdad, los marcos éticos, impactos en la seguridad geopolítica, etcétera.

El World Economic Forum tiene un gran número de Consejos sobre los temas de impacto mundial en la economía y la sociedad en general. Uno de ellos es relativo a la Cuarta Revolución Industrial (4RI) y engloba en su Consejo a los copresidentes de todos los consejos relativos a los facilitadores de la 4RI para explorar y moldear sus implicaciones globales en gobierno, industria y sociedad.

<https://www.weforum.org/communities/the-fourth-industrial-revolution>

LAS TECNOLOGÍAS DISRUPTIVAS «PILARES DE LA INDUSTRIA 4.0»

El citado estudio²⁷ de The Boston Consulting Group publicado en abril de 2015, identifica nueve áreas básicas (pilares del avance tecnológico) que componen los bloques fundamentales de la Industria 4.0 (Figura 1.3).

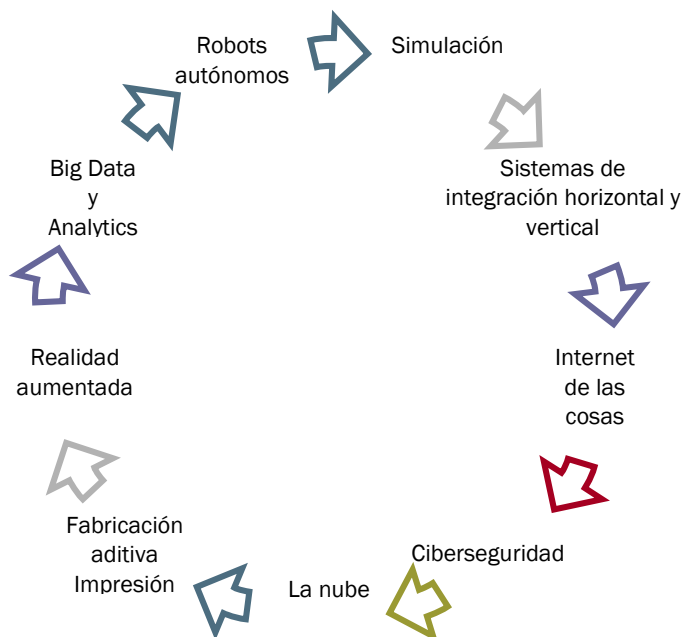


Figura 1.3 Nueve pilares del avance tecnológico en la Industria 4.0: la visión de la producción industrial del futuro.

Fuente: The Boston Consulting Group. The Nine Pillars of Technological Advancement

https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/ [traducción adaptada]

La mayoría de estas nueve tecnologías ya se usan actualmente en las fábricas, sin embargo, es en la Industria 4.0 donde estas tecnologías transformarán la producción: células aisladas y optimizadas se unirán conjuntamente para formar flujos de producción totalmente integrados, automatizados y optimizados, lo que conllevará mayor eficiencia y un cambio en las relaciones tradicionales de producción entre distribuidores, productores y clientes, así como entre máquinas

y humanos. Un extracto en traducción libre del estudio se describe a continuación.

Robots autónomos. «Muchas industrias han usado robots desde hace mucho tiempo para abordar tareas complejas, pero es ahora cuando los robots industriales están evolucionando para alcanzar una mayor utilidad. Cada vez son más autónomos, flexibles, colaborativos y cooperativos hasta tal punto que interactuarán con otros robots y trabajarán lado a lado con humanos en forma segura, aprendiendo de ellos en un nuevo modelo de robot humanoide, denominado **cobot**. Estos robots costarán menos y tendrán más capacidades que los usados actualmente en la fabricación». La inteligencia artificial aplicada a la industria de la robótica ha generado en los últimos años, los **robots virtuales (asistentes virtuales)** representados en los *bots* y *chatbots* cuya presencia en empresas e industrias de todo tipo es cada día mayor, en los diferentes sectores de las organizaciones, así como en aplicaciones de gestión empresarial y para la toma de decisiones.

Simulación. «En la fase de ingeniería ya se usan hoy día simulaciones 3D de productos, materiales y procesos de producción. Pero en el futuro las simulaciones se usarán también en forma más extensa en operaciones de planta. Estas simulaciones explotarán datos en tiempo real que reflejarán el mundo físico en un modelo virtual, el cual incluirá máquinas, productos y humanos. Esto permitirá a los operadores realizar pruebas y optimizar las configuraciones de las máquinas para el producto siguiente en la línea de producción virtual antes de cualquier cambio en el mundo físico, reduciendo así los tiempos de configuración de las máquinas y aumentando la calidad».

Sistemas de integración horizontal y vertical. «La mayoría de los sistemas TI (tecnologías de la información) no están plenamente integrados actualmente. Las compañías, los distribuidores y los clientes no suelen estar estrechamente vinculados; tampoco los departamentos como los de ingeniería, producción o servicio. Las funciones desde la empresa hasta el nivel de planta no están totalmente integradas. Incluso el departamento de ingeniería en sí (producto-planta-automatización) carece de completa integración. Sin embargo, con la Industria 4.0 las compañías, los departamentos, las funciones y las capacidades estarán mucho más cohesionados. Redes universales de integración de datos evolucionarán y permitirán cadenas de valor verdaderamente automatizadas».

Internet industrial de las cosas. «Al día de hoy, solo algunos sensores y máquinas trabajan en red y hacen uso de computación empotrada (embebida). Generalmente están organizados en una pirámide de automatización vertical en la cual los sensores, los dispositivos de campo con inteligencia limitada y los controladores de automatización están gobernados por un sistema de control global. Con el Internet Industrial de las Cosas, un mayor número de dispositivos (a veces, incluso productos no terminados) se enriquecerán de la computación empotrada y se conectarán a través de estándares tecnológicos. Esto permitirá a los dispositivos de campo comunicarse e interactuar tanto con otros iguales a

ellos como con controladores más centralizados, según sea necesario. También descentraliza el análisis y la toma de decisiones, lo que permitirá respuestas en tiempo real».

Ciberseguridad. «Muchas compañías todavía dependen de sistemas de gestión y producción desconectados o cerrados, pero con la creciente conectividad y uso de protocolos de comunicación estándar que conlleva la Industria 4.0, la necesidad de proteger los sistemas industriales críticos y líneas de fabricación de las amenazas de ciberseguridad aumentan dramáticamente. Como resultado, son esenciales tanto comunicaciones seguras y fiables como sofisticados sistemas de gestión de identidad y acceso de máquinas y usuarios».

Computación en la nube. «Las compañías ya usan software basado en la nube para algunas aplicaciones de empresa y de análisis, pero con la Industria 4.0 un mayor número de tareas relacionadas con la producción requerirán mayor intercambio de datos entre lugares y compañías. Al mismo tiempo, el rendimiento de las tecnologías en la nube mejorará, alcanzando tiempos de reacción de sólo unos milisegundos. Como resultado, los datos y la funcionalidad de las máquinas irán poco a poco haciendo uso cada vez más de la computación en la nube, permitiendo más servicios basados en datos para los sistemas de producción. Incluso los sistemas de monitorización y control de procesos podrán estar basados en la nube».

Fabricación aditiva. «Las compañías empiezan a adoptar la fabricación aditiva, por ejemplo, la impresión 3D, la cual se usa principalmente para crear prototipos y producir componentes individuales. Con la Industria 4.0 estos métodos de fabricación aditiva serán ampliamente usados para producir pequeños lotes de productos personalizados que ofrecen ventajas de construcción, como son los diseños ligeros y complejos. Los sistemas de fabricación aditiva descentralizados, de alto rendimiento, reducirán las distancias de transporte y el stock de productos».

Realidad aumentada. «Los sistemas basados en realidad aumentada soportan una gran variedad de servicios, como por ejemplo la selección de piezas en un almacén y el envío de instrucciones de reparación a través de dispositivos móviles. Estos sistemas se encuentran aún en sus primeros pasos, pero en el futuro las compañías harán un uso mucho más amplio de la realidad aumentada para proporcionar a los trabajadores información en tiempo real con el objetivo de mejorar la toma de decisiones y los procedimientos de trabajo. Por ejemplo, los trabajadores podrían recibir instrucciones de cómo sustituir una pieza en particular mientras están mirando el propio sistema bajo reparación, a través de unas gafas de realidad aumentada. Otra aplicación podría ser la formación de trabajadores en forma virtual».

Big Data y Analytics. «El análisis de grandes cantidades de datos ha surgido recientemente en el mundo industrial, permitiendo optimizar la calidad de la producción, ahorrar energía y mejorar el equipamiento. En la industria 4.0, la

obtención y exhaustiva evaluación de datos procedente de numerosas fuentes distintas (equipos y sistemas de producción, sistemas de gestión de clientes...) se convertirá en norma para el apoyo en la toma de decisiones en tiempo real».

LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Aunque el estudio de *The Boston Consulting Group* no cita expresamente la inteligencia artificial como tecnología disruptiva de impacto en Industria 4.0, en esta década y sobre todo en los últimos años la inteligencia artificial aplicada ha adquirido una gran relevancia al comenzar a llegar a la empresa y a las organizaciones y su impacto práctico es ya una realidad. El advenimiento de *big data* y la posibilidad de procesar y dar inteligencia a grandes volúmenes de datos, ha facilitado que numerosas aplicaciones de computación sean específicamente diseñadas con técnicas de IA o bien integradas o embebidas en otras aplicaciones. Su impacto en la robótica virtual ha hecho despegar a los **bots** y **chatbots**, popularizados por Apple en su asistente virtual Siri, como asistentes virtuales especializados en empresas o específicos de ellas, o bien mediante interfaces API integrados en las redes sociales propias de las entidades.

A lo largo de los años 2016 y 2017 se han consolidado y popularizado -como se verá en el capítulo 9 dedicado a Inteligencia Artificial- asistentes virtuales (de voz) tales como **Alexa** de Amazon, **Assistant** de Google, **Cortana** de Microsoft, y el más reciente de Samsung, **Bixby**, presentado el 20 de marzo de 2017 para su conexión con dispositivos móviles inteligentes y electrodomésticos de Samsung y presentado ya integrado en el nuevo teléfono inteligente *Galaxy S8* unos días más tarde (29 de marzo, 2017) coincidiendo con la presentación mundial de dicho teléfono. Y, naturalmente, Siri de Apple que continúa siendo líder en asistentes virtuales de voz, para los dispositivos iPhone y iPad.

La inteligencia artificial desde el advenimiento de *Big Data* está llegando a numerosos sectores que hasta hace unos años prácticamente era impredecible, y que en la actualidad están impactando en la ciberseguridad de las organizaciones y empresas. Una nueva generación de plataformas de negocio están surgiendo en la convergencia del **aprendizaje automático** (*machine learning*) —y recientemente el **aprendizaje profundo** (*deep learning*)— y *big data*, lo cual traerá un gran cambio en materia de ciberseguridad. Los algoritmos de aprendizaje automático, unidos al uso de las redes neuronales artificiales con el aprendizaje profundo, están comenzando a utilizarse en un gran número de campos, desde los negocios y la administración de empresas, hasta la industria, el sector de la salud, el sector de la ciberseguridad, etcétera.

La computación cognitiva —representada fundamentalmente por **IBM Watson**— ha iniciado un despegue que en los próximos años tendrá un gran impacto mediático y económico. IBM decidió hace varios años cambiar su modelo de